

# **ИССЛЕДОВАНИЕ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПОТОКА БЫСТРОДВИЖУЩЕЙСЯ ВОДЫ ПРИ ОБЪЕМНО-ПОВЕРХНОСТНОЙ ЗАКАЛКЕ СТАЛИ**

***к.т.н. Кузнецова Н.Ю.***

Минэкономразвития России, г. Москва,

kuznetsovaNU@economy.gov.ru

В настоящее время в промышленности для закалки стальных изделий используется большое количество разнообразных охлаждающих сред, преимущественно на основе воды и масла. Эти среды характеризуются рядом недостатков, ограничивающих их применение.

Таковыми недостатками для закалочных сред являются пожароопасность, дымление с выделением вредных для персонала масляных аэрозолей, необходимость затрат на вентиляцию, промывку деталей от масла, природоохранные мероприятия и др. Охлаждающая способность масел недостаточна для закалки изделий из углеродистых и многих низколегированных сталей.

Охлаждение погружением деталей в спокойную или слабоциркулирующую воду вызывает опасность закалочных трещин и повышенной деформации, особенно при закалке деталей из высокоуглеродистых и легированных сталей с низкими температурами мартенситного превращения.

Применение спрейерного охлаждения водой, подаваемой в виде душа через отверстия малого диаметра (1,5...3 мм), ограничено в основном индукционной поверхностной закалкой. Предотвращение возможных засорений отверстий вынуждает использовать чистую, мягкую, а следовательно, дорогую воду регулярно продувать отверстия сжатым воздухом.

Профессором К.З. Шепеляковским был разработан метод объемно-поверхностной закалки тяжелонагруженных изделий сталей машин с использованием охлаждения интенсивными организованными потоками воды.

Метод основан на способности стали воспринимать закалку на определенную глубину (прокаливаемость) и приобретать максимальную твердость при закалке (закаливаемость). При использовании этих факторов обеспечивается в согласовании с размерами деталей благоприятное распределение структурных составляющих в сечениях. Благодаря большой прочности и сжимающим напряжениям в поверхностных слоях (преимущественно с мартенситной структурой) в сочетании с упрочненными (со структурой бейнита, троостита или сорбита закалки) глубинными слоями и сердцевиной достигается высокая конструкционная прочность изделий в разных условиях эксплуатации.

Объемно-поверхностная закалка может быть эффективно использована в массовом и крупносерийном производстве деталей, работающих в условиях циклических изгибающих, крутящих, контактных нагрузок, которые действуют раздельно или в сочетании. Технология эффективна и для повышения износо- и задиростойкости деталей. Закаленный слой должен существенно перекрывать глубину залегания поверхностных дефектов, которые могут стать концентраторами как полезных сжимающих, так и вредных растягивающих остаточных и рабочих напряжений.

Известные методики не позволяют решить задачу расчетов твердости по сечению закаленных изделий, исходя из прокаливаемости стали и интенсивности закалочного охлаждения только на основании расчетов и справочных данных. Это требует дополнительных сведений в виде:

- 1) результатов закалки специальных образцов из применяемых сталей;
- 2) термокинетических диаграмм превращения переохлажденного аустенита рассматриваемых сталей;
- 3) специфических параметров охлаждения в данных средах, таких как времени охлаждения характерных точек в сечениях образцов в определенных температурных интервалах.

Большинство из этих методов предназначены для вариантов охлаждения изделий при закалке в относительно мягких охлаждающих средах типа минеральных масел или полимерных водных растворов.

Многолетний опыт промышленного применения и опробования метода объемно-поверхностной закалки доказал практическую возможность использования в качестве закалочной среды потоков воды с различной интенсивностью для закалки изделий из сталей, содержащих от 0,2 до 1 % углерода. Показана возможность предотвращения закалочных трещин и повышенной закалочной деформации при правильном конструировании закалочных устройств.

Учитывая оптимальность несквозной, в том числе и объемно-поверхностной закалки для многочисленных деталей машин различного назначения актуальной становится инженерная задача расчетного прогнозирования твердости по сечению закаленных изделий.

В данном исследовании предлагается решение этой задачи путем сопоставления скоростей охлаждения по сечению закаливаемых изделий и характеристик прокаливаемости применяемых сталей.

Распределение температуры по сечению закаливаемых изделий в различные моменты времени от начала охлаждения и, соответственно, скорости охлаждения в заданных температурных интервалах рассчитываются путем численных решений дифференциального уравнения теплопроводности Фурье для тел простых геометрических форм в

граничных условиях третьего рода, при этом в качестве характеристики охлаждающей способности закалочной среды используется «эффективный», либо, что то же самое, «эквивалентный» коэффициент теплоотдачи.

Вследствие сложной зависимости от температуры коэффициент теплоотдачи  $\alpha$  не может быть рекомендован для оценки охлаждающей способности различных сред и способов охлаждения. Наиболее наглядной и практически легко используемой характеристикой является эквивалентный коэффициент теплоотдачи  $\alpha_{экв}$ . В условиях интенсивного охлаждения поверхности величина  $\alpha_{экв}$  достаточно близка к усредненному по температуре коэффициенту теплоотдачи в диапазоне температур 800...100 °С.

Для ориентировочной оценки охлаждающей способности различных способов охлаждения, применяемых при закалке, можно принять, по терминологии А.Л. Немчинского, «эффективные» значения коэффициента теплоотдачи.

При использовании этих коэффициентов теплоотдачи необходимо иметь в виду следующее:

1) при охлаждении стали в процессе закалки средами, претерпевающими изменение агрегатного состояния (например, кипение), коэффициент теплоотдачи  $\alpha$  имеет резко выраженный максимум; однако вследствие тепловой инерции детали (при достаточно большом значении критерия Био) резкое изменение интенсивности охлаждения сказывается лишь в небольшом слое и быстро затухает по мере углубления в толщу;

2) эффективные значения коэффициентов теплоотдачи должны быть выбраны так, чтобы получить примерное совпадение расчетных и экспериментальных кривых охлаждения.

В этом варианте анализа используются решения уравнения теплопроводности, полученные при допущении, что температура закалочной среды постоянна, а ее теплообмен с поверхностью детали происходит путем конвекции при неизменном значении коэффициента теплоотдачи.

Рассчитанные с использованием  $\alpha_{эфф}$  кривые охлаждения в выбранных температурных интервалах по предлагаемой методике сопоставляются с данными о прокаливаемости сталей, представленными для известных сталей в литературе в виде полос прокаливаемости, либо в виде термокинетических диаграмм превращения переохлажденного аустенита, либо рассчитываемых по известным методикам по химическому составу сталей. Совместное использование данных о скоростях охлаждения по сечению изделий и прокаливаемости сталей позволяет оценить распределение твердости по сечению изделий при закалке в различных средах.